N° 9. **Hansjörg Huggel,** Basel. — Temperaturabhängigkeit und Herzfrequenz des embryonalen Herzschlauches bei der Forelle *(Salmo irideus)*.

(Mit 4 Textabbildungen.)

(Zoologisches Institut der Universität, Basel.) *

Der embryonale Herzschlauch besitzt eine dicke myoepikardiale Schicht, deren Myoblasten mit dem Endothel verbunden sind. Das Herzlumen ist mit Flüssigkeit und primären Blutzellen gefüllt. Die verschiedenen Entwicklungsstadien habe ich nach folgenden morphologischen und physiologischen Gesichtspunkten eingeteilt:

Stadium	I, 34–38 Ursegmente:	Herzschlauch gestreckt, Puls rein endothelial. Abb. 1*a*.
»	II, 30–41 Ursegmente:	Entstehung der beiden Automatiezentren.
»	III, 42–47 Ursegmente:	beide Zentren ausgebildet, Beginn der Schlauchkrümmung. Abb. 1*b*.
»	IV, 48–60 Ursegmente:	Knickung vollendet, Atrioventrikulartrichter erkenntlich, Kreislauf beginnt schwach. Abb. 1*c*.
»	V, 60–n Ursegmente:	Herzform wird gebildet, Muskulaturzuwachs, Kreislauf voll entwickelt.

Jedes Stadium besitzt eine ihm entsprechende Frequenz, die sogenannte Eigenfrequenz. Zum Beispiel schlägt ein Herz von 34 Somiten bei 2,5 Grad C. mit 1,8 Schlägen pro Minute, ein Herz von 48 Somiten bei — 1 Grad C. mit 8,0/Min. Zur Prüfung der Frequenz beschränke ich mich hier auf den Temperatureinfluss, da die Temperatur als der bedeutendste physiologische Reiz anzusprechen ist.

Bis jetzt haben einzig Andersen und Grodzinski bei Bach- und Regenbogenforellen gefunden, dass die Herzfrequenz bis zum Schlüpfen kontinuierlich mit dem Alter zunimmt. Ebenso fanden sie, dass die jungen Stadien weniger hohe Temperaturen ertragen können als die älteren. Die Verhältnisse von Pulsbeginn an, wurden

* Die Arbeit wurde unter der Leitung von Herrn Prof. H. Mislin durchgeführt.

aber von keinem der Autoren untersucht. Da nach Grodzinski keine Unterschiede zwischen Regenbogen- und Bachforellen bestehen, habe ich mich auf die Untersuchung der Regenbogenforellen, *S. irideus* beschränkt.

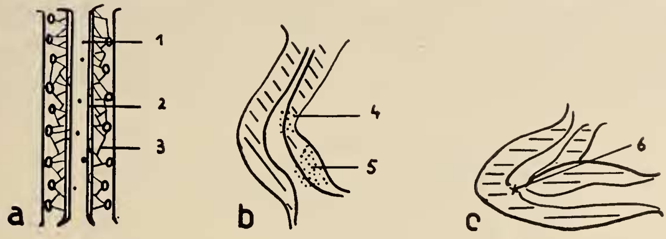


ABB. 1.

a) Entwicklungsstadium I; *b)* Stadium III; *c)* Stadium IV. 1. Herzlumen mit primären Blutzellen; 2. Endothel; 3. Epimyokard mit Myoblasten gegen aussen und Plasmaverbindungen zum Endothel. Nach histologischen Schnitten; 4. Automatiezentrum 2; 5. Automatiezentrum 1; 6. Atrioventrikulartrichter.

In einer eigens hierzu getesteten Ringerlösung werden die Eier von ihrer Hülle befreit. Die Lösung hat folgende Zusammensetzung:

NaCl	0,65 %
KCl	0,02 %
$CaCl_2$ wasserfrei	0,01 %
$NaHCO_3$	0,02 %
$MgCl_2$ wasserfrei	0,004%
NaH_2PO_4	0,004%
Glukose	0,1 %

Der Dotter wird bis auf einen kleinen Rest entfernt und der Embryo im Versuchsgefäss mit kleinen Glasblöcken befestigt. Diese schwache Befestigung vermeidet jeden Druck oder Zug auf den Embryo. Auf dem Durchströmungsgefäss befinden sich 4—5 cm³ Ringerlösung. Um eine Temperaturerhöhung von 2°C zu erreichen, wird für diese Menge eine Minute benötigt. Die Frequenzmessungen wurden darum vorsichtshalber nicht vor Ablauf von 4 Minuten durchgeführt. Stündlich wurde frische, auf die jeweilige Versuchstemperatur gebrachte, Ringerlösung zugesetzt. An 96 Embryonen wurden vom Kältestillstand bis zum irreversiblen Wärmestillstand alle 2 Grad 2 Frequenzmessungen durchgeführt.

Abbildung 2 zeigt den Verlauf der Herzfrequenzkurve im Verhältnis zum Alter. Bis zu Beginn von Stadium IV (48 Somiten) steigt die Kurve sehr steil an, von IV an verläuft sie flacher und zeigt von Stadium V an den gleichen Verlauf wie bei Andersen. Im ersten Abschnitt verdoppelt sich die Frequenz; bei 10°C steigt sie von 15,5 auf 34,5 und bei 15°C von 24,0 auf 49 Schläge pro Minute an. Die Zunahme von 48 bis 70 Somiten beträgt für diesen 6 mal längeren Abschnitt 20%. Die gewaltige Leistungssteigerung

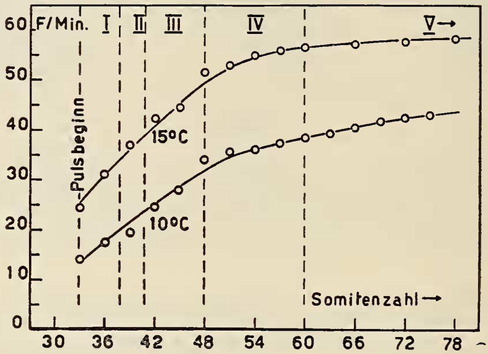


Abb. 2.
Ordinate: Frequenz, Abszisse: Alter durch die Somitenzahl ausgedrückt. I, II, III, IV, V: Entwicklungsstadien.

in Stadium I—III wird auch bei der unteren Temperaturgrenze sehr deutlich. Die ersten Schläge treten bei Stadium I bei +2,5°C bei Stadium III bei — 1°C auf und die Frequenz steigt von 1,8/Min. auf 8,5/Min. an. Der Kältestillstand bei — 1°C bleibt von 48 Somiten an bestehen.

Abbildung 3 fasst die Resultate der einzelnen Temperaturversuche zusammen. Der gesamte biokinetische Temperaturbereich wurde in Intervalle eingeteilt: Intervall *a* von Pulsbeginn bis zum Optimum, Intervall *b* vom Optimum bis zum Maximum und Intervall *c* vom Maximum bis zum reversiblen Wärmestillstand. Die Durchschnittswerte jedes Entwicklungsstadiums zeigen, dass Stadium I und II den kleinsten Temperaturbereich besitzen und der maximale Bereich mit Stadium IV erreicht wird. Obwohl die ältesten Embryonen höhere Frequenzen erreichen, bleibt die Beziehung vom Optimum zum Maximum erhalten. Das Zusammenfallen von

Maximum und Optimum bei den frühen Stadien zeigt, dass das Herz schon fast von Anfang an die höchsten Frequenzen erreichen kann. Eine physiologische Regulation bei Temperaturerhöhung tritt erstmals in Stadium III in Erscheinung, gleichzeitig mit der Ausbildung der Herzform und den Automatiezentren. Die frühen Stadien I und II erreichen Frequenzen im Maximum von 60—77

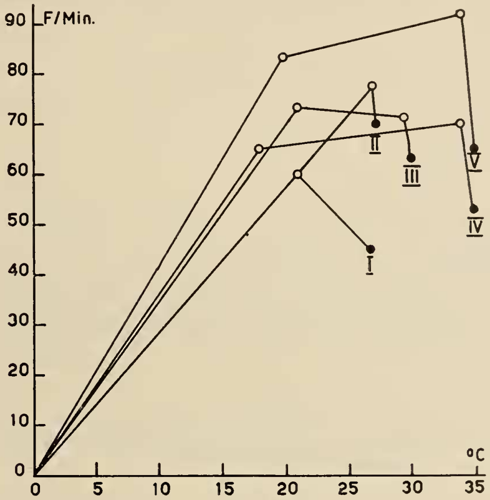


Abb. 3.

Biokinetischer Temperaturbereich der einzelnen Entwicklungsstadien. Kreise: Optima und Maxima. Schwarze Punkte: reversibler Wärmestillstand.

Schlägen pro Minute, während bei den späteren Stadien das Optimum bei 65 Schlägen pro Minute liegt, dafür schlägt das Herz über ein Intervall von 35°C und erträgt noch Temperaturen von 33—34°C, während die frühen bei 26° stehenbleiben. Daraus ergibt sich die Wichtigkeit der Regulation. Da nach Szepsenwol und Baumann in diesem Alter noch keine Nerven vorhanden sind, geht offenbar die Regulation vom Muskelsystem aus. Ob die gleichzeitig entstehenden Automatiezentren die eigentlichen Regulatoren sind, ist zwar damit nicht bewiesen, jedoch liegt dieser Schluss sehr nahe.

Die Berechnung des Temperaturkoeffizienten Q10 nach Arrhenius ergibt ein mathematisch erfassbares Bild der Frequenzsteigerung. Abbildung 4 zeigt die Kurven, die aus 200 Einzelwerten

gewonnen wurden. Die grössten Q10-Werte treten bei niederen Temperaturen auf, die Werte nehmen also innerhalb eines Versuches von — 1 bis +35°C ab. Diese Gesetzmässigkeit gilt für alle Stadien. Auch während der Entwicklung nimmt der Temperaturkoeffizient sehr stark ab, z. B. von Stadium I und II auf Stadium IV und V bei 3—5°C von 10 nach 4,5 und bei 13—15°C von 3,0 auf 2,0. Dieser Vergleich zeigt deutlich, dass das embryonale Herz auf

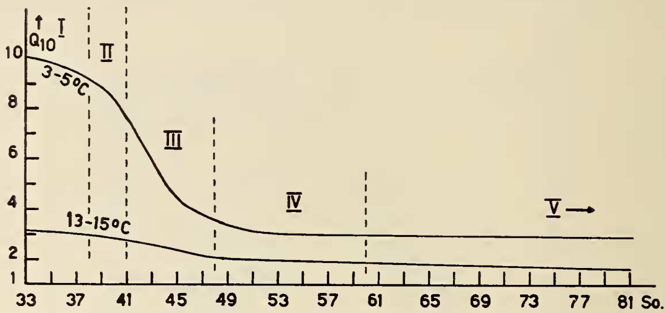


ABB. 4.

Verhalten des Temperaturkoeffizienten einer bestimmten Temperaturstufe während der Entwicklung. I, II, III, IV, V Entwicklungsstadien. Ordinate: Q10-Werte, Abszisse: Alter.

Temperaturreiz generell bei höherer Eigenfrequenz mit einer kleineren Steigerung, resp. bei niederer Eigenfrequenz mit einer höheren Steigerung antwortet. Die abnehmende Steigerung der Herzfrequenz während der Entwicklung und die abnehmende Steigerung bei Temperaturerhöhung können also auf ein und denselben Faktor zurückgeführt werden.

LITERATUR

1930. ANDERSEN, K. *Abhängigkeit der Herzschlagzahl und der Atembewegungen bei Knochenfischen von der Keimlingsgrösse und der Temperatur. Entwicklungsphysiologische Untersuchungen an Bachforellenkeimlingen.* Z. vergl. Physiol. *11*, 56,1930.

1948. GRODZINSKI, Z. *The influence of temperature upon the rate of the heart in embryos of Teleost fishes.* Bull. Internat. Acad. Polonaise Sci. et Lettr. cl. Sci. Math. et Nat. Sée. B, Sci. Nat. Zool. 1948, 255-293.

1950. Grodzinski, Z. *The susceptility of the heart in Salmo trutta embryo to small changes in temperature.* Bull. Internat. Acad. Polo. Sci. Séc. B, II, 1950, 173-182.

1935. Szepsenwol und Baumann, A. *Sur la nature des premières fibres nerveuses qui pénètrent dans le cœur chez Trutta fario.* Rev. Suisse Zool. *42*, 39, 1935.

No 10. **P. Tardent,** Bern. — Ueber Anordnung und Eigenschaften der interstitiellen Zellen bei *Hydra* und *Tubularia.* (Mit 3 Textabbildungen.)

Aus der Abteilung für Zoophysiologie des Zoologischen Institutes der Universität Bern.

1. Fragestellung.

Die grosse Bedeutung der interstitiellen Zellen (Synonyma: Ersatzzellen, Bildungszellen, Neoblasten) als Blastembildner bei der Regeneration von *Hydra* und *Planaria* steht heute nicht mehr in Frage. Bestrahlungsversuche haben den Beweis dafür erbracht. Eine Totalbehandlung mit bestimmten Dosen von Röntgenstrahlen hat bei diesen Tieren den vollständigen Verlust der Regenerationsfähigkeit zur Folge, da die I-Zellen in selektiver Weise geschädigt werden. Diese, im Turbellarien- und Hydrozoenkörper ständig vorhandenen, totipotenten Zellelemente, wandern bei Amputation oder Verletzung aus dem ganzen Bereich des Stammstückes aktiv zur Wunde und vereinigen sich dort zum Regenerationsblastem (Zawarzin 1929, Strelin 1929, Evklahova 1946, Dubois 1949).

Child hat daneben mit seinen Schülern, ohne die cytologische Seite des Problems zu berücksichtigen, eine umfassende Theorie entwickelt, welcher u.a. die Bedeutung der verschiedenen, physiologischen Gradienten für die Regeneration zu Grunde liegt. Barth (1938) hat in Anlehnung daran bei *Tubularia* einen auf genauen, quantitativen Messungen beruhenden Regenerations-Gradienten nachgewiesen, der sich wie folgt in Worte fassen lässt: Die Regenerationsrate (Masse des Regenerates pro Zeiteinheit) distaler Stammstücke ist höher als diejenige gleich grosser proximaler Abschnitte.